

### 3.

## ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

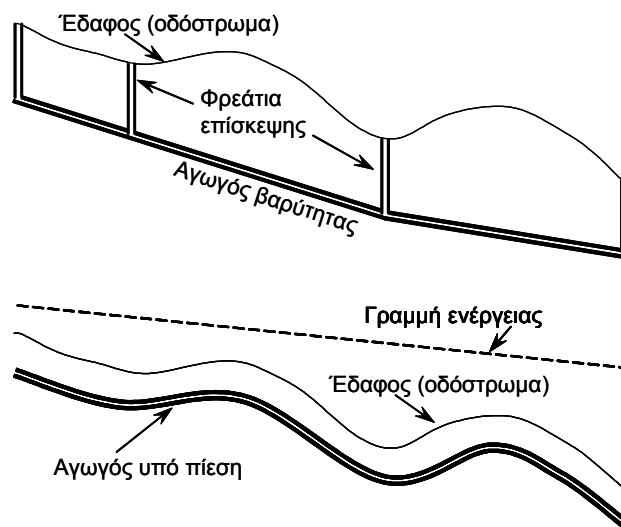
Δημήτρης Κουτσογιάννης

Τομέας Υδατικών Πόρων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

### 3.1 Από τα Συμβατικά στα Εναλλακτικά Συστήματα Αποχέτευσης

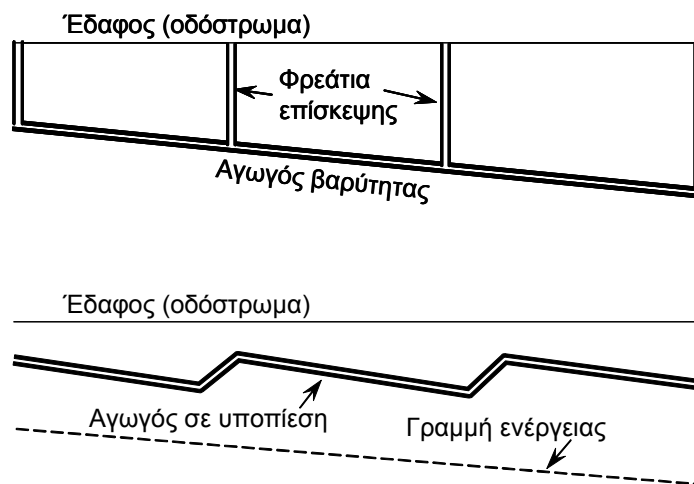
Τα συμβατικά συστήματα αποχέτευσης υγρών αποβλήτων (ακαθάρτων) ή και ομβρίων έχουν μια ιστορία τεσσάρων χιλιάδων ετών και οι βασικές αρχές σχεδιασμού τους δεν έχουν αλλάξει από τότε που πρωτοεμφανίστηκαν στη μινωική Κρήτη (Angelakis and Koutsoyiannis, 2003). Η συλλογή και μεταφορά των υγρών αποβλήτων γίνεται αποκλειστικά με βαρύτητα σε συνθήκες ροής με ελεύθερη επιφάνεια, ενώ το γεγονός ότι τα υγρά απόβλητα μεταφέρουν στερεές ουσίες που δεν πρέπει να καθιζάνουν επιβάλλει την ύπαρξη ικανοποιητικών ταχυτήτων ροής. Το πρώτο σημαντικό γενικό πλεονέκτημα των συμβατικών αποχετευτικών συστημάτων είναι η αξιοπιστία και η αντοχή τους στο χρόνο, και συναρτάται με την απλότητα των αρχών λειτουργίας τους. Το δεύτερο γενικό πλεονέκτημά τους είναι το μικρό κόστος λειτουργίας τους και συναρτάται με τη λειτουργία τους με βαρύτητα, δηλαδή τη μη κατανάλωση ενέργειας. Το βασικό μειονέκτημά τους είναι το σημαντικό κόστος κατασκευής, ιδίως σε μικρούς αραιοκατοικημένους οικισμούς, το οποίο αποτελεί απόρροια των αρχών σχεδιασμού τους και προκύπτει από τις σχετικά μεγάλες διαμέτρους, τις βαθιές εκσκαφές και τον απαιτούμενο μεγάλο αριθμό φρεατίων επίσκεψης.

Στην Ελλάδα (αλλά και αλλού), η ελάχιστη διάμετρος που χρησιμοποιείται σε δίκτυα ακαθάρτων είναι 20 cm (Κουτσογιάννης, 1999). Το μέγεθος αυτό επιβάλλεται για δύο κύριους λόγους: για την αποφυγή εμφράξεων, είτε από καθιζήσεις στερεών υλικών, είτε από τυχόν παγίδευση ευμεγεθών αντικειμένων που έχουν εισχωρήσει στο δίκτυο, και για την εξασφάλιση επαρκούς αερισμού των υγρών αποβλήτων (δια μέσου της υποχρεωτικής τήρησης σχετικά χαμηλού ποσοστού πλήρωσης του αγωγού) με στόχο την αποφυγή αναερόβιων συνθηκών σε αυτό. Ένας επιπλέον λόγος που συντελεί στην αύξηση της διαμέτρου είναι οι παρασιτικές εισροές που εισέρχονται στο δίκτυο ακαθάρτων, είτε από μη στεγανές συνδέσεις και ρωγμές των αγωγών, είτε από παράνομες ιδιωτικές συνδέσεις ομβρίων. Πάντως, ακόμη και αν ληφθούν υπόψη λογικά ποσοστά παρασιτικών εισροών, ένας αγωγός με την ελάχιστη διάμετρο των 20 cm είναι υδραυλικά υπερεπαρκής σε μικρούς οικισμούς ή και σχετικά μικρούς τομείς πόλεων, αφού ακόμη και με την ελάχιστη κλίση μπορεί να εξυπηρετήσει ισοδύναμο πληθυσμό της τάξης των επτακοσίων κατοίκων (Κουτσογιάννης, 1999). Από αυτά τεκμαίρεται ότι σε αραιοκατοικημένες περιοχές η χρήση της ελάχιστης διαμέτρου στο εκτεταμένο τριτεύον δίκτυο αποτελεί, από υδραυλική άποψη, σπάταλη πρακτική.



Σχ. 3.1 Σκαρίφημα μηκοτομής αγωγού υγρών αποβλήτων σε λοφώδες έδαφος. Πάνω: συμβατικό αποχετευτικό σύστημα με βαρύτητα· κάτω: αποχετευτικό σύστημα με πίεση.

Οι σχετικά βαθιές εκσκαφές είναι αποτέλεσμα πολλών παραγόντων. Κατ' αρχάς η απαίτηση για αποχέτευση των υπογείων των σπιτιών με βαρύτητα επιβάλλει ένα ελάχιστο βάθος της τάξης των 2.50 m. Η συνύπαρξη αγωγών ομβρίων στον ίδιο δρόμο, οι οποίοι έχουν διατομή μεγαλύτερη από αυτή των αγωγών ακαθάρτων, οδηγεί σε μεγαλύτερα βάθη τους τελευταίους, ώστε να είναι δυνατή η σύνδεση των σπιτιών με βαρύτητα και από τις δύο πλευρές του δρόμου. Αυξημένα βάθη δημιουργεί επίσης, η αρχή της λειτουργίας με ελεύθερη επιφάνεια, η οποία έχει αποτέλεσμα ο αγωγός να μην ακολουθεί την κλίση του εδάφους, τόσο σε λοφώδη εδάφη (Σχ. 3.1, πάνω τμήμα) όσο και σε πεδινά, πρακτικώς οριζόντια, εδάφη (Σχ. 3.2, πάνω τμήμα). Ειδικότερα, στην τελευταία περίπτωση, η απαίτηση μιας ελάχιστης ταχύτητας κατάλληλης τόσο για τον αυτοκαθαρισμό των αγωγών από στερεά υλικά που τυχόν καθιζάνουν, όσο και για τον αυτοαερισμό των υγρών αποβλήτων και την αποφυγή αναερόβιων συνθηκών και τη συνεπακόλουθη παραγωγή υδροθειού. Με τη σειρά της η ελάχιστη ταχύτητα συνεπάγεται μια ελάχιστη κλίση της τάξης του 4‰ για την ελάχιστη διάμετρο των 20 cm (σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές). Σε περιοχές με ισχυρές κλίσεις εδάφους, η ανάγκη περιορισμού της ταχύτητας κάτω από κάποιο ανώτατο όριο, ώστε να αποφευχθούν διαβρώσεις των τοιχωμάτων των αγωγών αλλά και φαινόμενα υδραυλικών ασταθειών (υδραυλικό άλμα κτλ.) και πάλι έχει αποτέλεσμα την εκβάθυνση του αγωγού, δηλαδή τη χάραξη του αγωγού με κλίση μικρότερη της κλίσης του εδάφους.



Σχ. 3.2 Σκαρίφημα μηκοτομής αγωγού υγρών αποβλήτων σε οριζόντιο έδαφος. Πάνω: συμβατικό αποχετευτικό σύστημα με βαρύτητα· κάτω: αποχετευτικό σύστημα με υποπίεση.

Εξ άλλου, τα μεγάλα βάθη έχουν συνέπεια το μεγαλύτερο κόστος των φρεατίων επίσκεψης, τα οποία τοποθετούνται σε αποστάσεις όχι μεγαλύτερες των 100 m προκειμένου να εξασφαλίζεται ικανοποιητική πρόσβαση για την επιθεώρηση και συντήρηση του δικτύου. Φρεάτια επίσκεψης τοποθετούνται επίσης σε κάθε αλλαγή κατεύθυνσης, κλίσης, υψομέτρου, ή διατομής του αγωγού, καθώς και σε κάθε συμβολή αγωγών, έτσι ώστε κάθε τμήμα αγωγού ανάμεσα σε δύο διαδοχικά φρεάτια τελικώς να αποτελεί μια ευθυγραμμία με σταθερά γεωμετρικά χαρακτηριστικά αγωγού. Οι απαραίτητες συναρμογές για την υδραυλική μετάβαση από την ανάντη κατάσταση ροής στην κατάντη μορφώνεται στον πυθμένα του φρεατίου. Αυτός ο κανόνας σχεδιασμού σε συνδυασμό με την πυκνή τοποθέτηση των φρεατίων συντελεί στην αξιοπιστία και τη λειτουργικότητα του δικτύου, αλλά συνεπάγεται αυξημένο κόστος κατασκευής.

Η σύγκριση ενός αποχετευτικού δικτύου ακαθάρτων με ένα δίκτυο διανομής νερού υπό πίεση δείχνει πόσο αυξημένοι είναι οι συντελεστές του κόστους κατασκευής του πρώτου σε σχέση με το δεύτερο. Ειδικότερα, στο δεύτερο οι διάμετροι είναι μικρότερες, τα βάθη μικρότερα, αφού η χάραξη του ακολουθεί σχεδόν πιστά τις κλίσεις του εδάφους, και τέλος δεν απαιτούνται φρεάτια επίσκεψης. Προσπάθειες εφαρμογής σχεδιαστικών αρχών και πρακτικών από την τεχνολογία των δικτύων διανομής υπό πίεση, οι οποίες διεθνώς χρονολογούνται περίπου από τη δεκαετία του 1960, οδήγησαν σε διάφορους τύπους εναλλακτικών δικτύων αποχέτευσης με κύρια γνώμονα τη μείωση του κόστους κατασκευής. Όμως, πρέπει να τονιστεί ότι οι εναλλακτικές τεχνολογίες δεν έχουν την αξιοπιστία και ευρωστία της δοκιμασμένης επί αιώνες συμβατικής τεχνολογίας και εν τέλει δεν είναι κατάλληλες για εκτεταμένες αστικές περιοχές. Όμως σε αραιοκατοικημένους μικρού μεγέθους οικισμούς είναι σκόπιμο να εξετάζονται, τουλάχιστον ως εναλλακτικές τεχνολογίες, μαζί βέβαια και με αυτή της επιτόπιας επεξεργασίας και διάθεσης ανά μεμονωμένη κατοικία ή ομάδα κατοικιών (οικιστική μονάδα).

Μια πρώτη προϋπόθεση για την εφαρμογή εναλλακτικών τεχνολογιών είναι η απαλλαγή των υγρών αποβλήτων από τα καθιζήσιμα στερεά υλικά, πράγμα που μπορεί να γίνει είτε με τη μεσολάβηση βόθρων, στους οποίους καθιζάνουν τα στερεά υλικά σε μεγάλο ποσοστό, είτε με τη χρήση αλεστικών αντλιών (grinder pumps) που αλέθουν τα στερεά υλικά δημιουργώντας πιο λεπτόκοκκα υλικά που δεν καθιζάνουν. Η δεύτερη προϋπόθεση είναι η απαλλαγή από τις συνθήκες ροής με βαρύτητα, που επιτυγχάνεται είτε εφαρμόζοντας πίεση στο δίκτυο αποχέτευσης, είτε εφαρμόζοντας υποπίεση με αντλίες κενού (vacuum pumps). Η τρίτη προϋπόθεση είναι η ελαχιστοποίηση των παρασιτικών εισροών (καθώς και των διαρροών) με χρήση στεγανών σωληνώσεων και τη δημιουργία συνθηκών αποθάρρυνσης των παράνομων συνδέσεων ομβρίων. Οι προϋποθέσεις αυτές εξειδικεύονται ανάλογα με τον τύπο του εναλλακτικού συστήματος και μπορεί να μην ισχύουν απαραίτητα για όλους τους τύπους εναλλακτικών συστημάτων.

Σε αντιπαράθεση με τα αποχετευτικά δίκτυα συμβατικής τεχνολογίας, τα εναλλακτικά αποχετευτικά συστήματα εμφανίζουν τις ακόλουθες κύριες διαφορές: (α) χρήση μικρών διαμέτρων, (β) τοποθέτηση αγωγών σε μικρά βάθη, (γ) αποφυγή φρεατίων επίσκεψης, (δ) συνθετότητα της υδραυλικής αλλά και της βιοχημικής λειτουργίας, (ε) μικρότερο αρχικό κόστος κατασκευής αλλά μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος για το συλλογικό δίκτυο (στ) μεγαλύτερο αρχικό και κατά κανόνα μεγαλύτερο λειτουργικό κόστος για τους χρήστες που συνδέονται στο σύστημα.

Τρεις είναι κύριοι τύποι εναλλακτικών συστημάτων συλλογής υγρών αποβλήτων. Στον πρώτο τύπο, που είναι και ο πλησιέστερος στο συμβατικό σύστημα αποχέτευσης, ανήκουν τα αποχετευτικά συστήματα μικρής διαμέτρου με βαρύτητα (small diameter gravity sewers, ή septic tank effluent gravity sewers – STEG). Ο δεύτερος τύπος περιλαμβάνει τα αποχετευτικά συστήματα με πίεση, η σύνδεση στα οποία προϋποθέτει τη χρήση αντλιών από μέρους των χρηστών. Στον τύπο αυτό υπάρχουν δύο υποκατηγορίες, τα συστήματα άντλησης από βόθρο (septic tank effluent pump sewers – STEP) και τα συστήματα με αλεστικές αντλίες (pressure sewers with grinder pumps – GP). Ο τρίτος τύπος περιλαμβάνει τα αποχετευτικά συστήματα με υποπίεση (vacuum sewers), η οποία δημιουργείται με αντλίες κενού (vacuum pumps).

Στις παρακάτω ενότητες δίνονται συνοπτικές περιγραφές των αρχών λειτουργίας και των τεχνικών χαρακτηριστικών των τριών τύπων εναλλακτικών αποχετευτικών συστημάτων. Για ανάλογες συνοπτικές περιγραφές με ειδικότερη αναφορά στις ΗΠΑ και τη Μεγάλη Βρετανία, αντίστοιχα, ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης παραπέμπεται στους Burton (1996) και Butler and Davis (2000). Αναλυτικότερες πληροφορίες καθώς και οδηγίες και παραδείγματα σχεδιασμού δίνονται από τους Crites and Tchobanoglous (1998) και αλλού (Water Environment Federation, 1986· U.S. Environmental Protection Agency, 1991, 2000, 2002). Επίσης πλήθος τεχνικών πληροφοριών και παραδειγμάτων εφαρμογής μπορεί να βρει ο ενδιαφερόμενος στο Διαδίκτυο, μέσω των διαδεδομένων μηχανών αναζήτησης.

### 3.2 Αποχετευτικά Συστήματα Μικρής Διαμέτρου με Βαρύτητα

Τα αποχετευτικά συστήματα μικρής διαμέτρου με βαρύτητα πρωτοχρησιμοποιήθηκαν στην Αυστραλία τη δεκαετία του 1960 και ακολούθησε η εφαρμογή τους στις ΗΠΑ στα μέσα της δεκαετίας του 1970. Σε αυτά, τα υγρά απόβλητα από κάθε κατοικία εισέρχονται στο δίκτυο με βαρύτητα, αφού όμως προηγουμένως έχουν παραμείνει σε βόθρο. Έτσι, τα περισσότερα αιωρούμενα στερεά έχουν καθιζήσει και δεν επιβαρύνουν το δίκτυο. Παράλληλα, η χρήση φίλτρου με ανοίγματα εσχάρας της τάξης των 3 mm απαγορεύει την είσοδο στο δίκτυο επιπλεόντων σωμάτων. Έτσι, μειώνεται η πιθανότητα καθιζήσεων φερτών και εμφράξεων των αγωγών, πράγμα που επιτρέπει τη μείωση της ελάχιστης διαμέτρου από τα 20 cm στα 5-10 cm. Αν δεν αποχετεύονται υπόγεια, μπορεί να μειωθεί και το ελάχιστο βάθος των αγωγών στο 1 m περίπου, ενώ γενικά η χάραξή τους ακολουθεί την κλίση του εδάφους με μεταβλητή κατά μήκος κλίση. Φρεάτια επίσκεψης δεν κατασκευάζονται, αλλά οι αγωγοί εφοδιάζονται ανά διαστήματα με διόδους πλύσης ή διόδους καθαρισμού (απόξεσης). Πρόκειται για κατακόρυφες σωληνωτές κατασκευές που προς τα πάνω καταλήγουν στο έδαφος ή το οδόστρωμα, κάτω από κατάλληλο κάλυμμα, ενώ προς τα κάτω συνδέονται με ειδικό τεμάχιο και δικλείδα με τον αγωγό. Το άνοιγμα της δικλείδας επιτρέπει είτε την εισαγωγή νερού με πίεση για την απόπλυση του αγωγού, είτε την εισαγωγή εργαλείων απόξεσης. Σε ψηλά σημεία της χάραξης τοποθετούνται δικλείδες αερεξαγωγής.

Η παραμονή των υγρών αποβλήτων στο βόθρο πριν την είσοδο στο δίκτυο δημιουργεί αναερόβιες συνθήκες και συνεπάγεται την παρουσία υδροθείου. Κατά συνέπεια, απαιτούνται διατάξεις απόσμισης σε κάθε σημείο πρόσβασης στο δίκτυο. Για την επαναφορά και διατήρηση αερόβιων συνθηκών χρησιμοποιούνται αερισμός, χλωρίωση ή προσθήκη υπεροξειδίου του υδρογόνου.

Τα αποχετευτικά συστήματα μικρής διαμέτρου με βαρύτητα θεωρούνται κατάλληλα για αραιοκατοικημένες περιοχές και κυματοειδές ανάγλυφο, όχι όμως ιδιαίτερα έντονο, με βραχώδες έδαφος και υψηλό υπόγειο ορίζοντα. Τα πλεονεκτήματά τους είναι η ταχύτητα και το χαμηλό κόστος κατασκευής (υλικών και εκσκαφών). Εξ άλλου, το γεγονός ότι τα συστήματα αυτά δεν απέχουν πολύ, ως προς τις αρχές σχεδιασμού, από τα συμβατικά συστήματα, εφόσον λειτουργούν με βαρύτητα, δεν δημιουργεί ιδιαίτερες ανάγκες σε εξειδικευμένο προσωπικό για τη λειτουργία και συντήρηση. Η αφαίρεση σημαντικού μέρους του οργανικού φορτίου πριν την εισαγωγή των υγρών αποβλήτων στο δίκτυο μειώνει τις απαιτήσεις τελικής επεξεργασίας των λυμάτων. Έχει όμως και σημαντικές αρνητικές συνέπειες, όπως είναι η δημιουργία αναερόβιων συνθηκών και η συνεπαγόμενη διαβρωτική δράση των υγρών αποβλήτων, τα προβλήματα οσμών και η ανάγκη απόσμισης. Το μεγαλύτερο ίσως πρόβλημα είναι η ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας και διάθεσης της σηπτικής ιλύος που συσσωρεύεται στους βόθρους και πρέπει περιοδικά να εκκενώνεται (π.χ. μια ή δυο φορές το έτος).

### 3.3 Αποχετευτικά Συστήματα με Πίεση

Όπως προαναφέρεται, τα αποχετευτικά συστήματα με πίεση άρχισαν να εφαρμόζονται στις ΗΠΑ από τη δεκαετία του 1970 και ήδη η χρήση τους είναι αρκετά εκτεταμένη. Τα γενικά χαρακτηριστικά τους μοιάζουν με αυτά των συστημάτων μικρής διαμέτρου με βαρύτητα. Η σημαντική διαφορά εδώ είναι ότι οι αγωγοί του δικτύου λειτουργούν με πίεση (Σχ. 3.1, κάτω μέρος) και έτσι η σύνδεση των κατοικιών στο δίκτυο γίνεται απαραίτητα με άντληση. Η αντλία μπορεί να είναι συνήθως βυθισμένη φυγοκεντρική αντλία, η αναρρόφηση της οποίας τοποθετείται μέσα σε φίλτρο με άνοιγμα σχάρας 3 mm για τον περιορισμό των στερεών υλικών που εισέρχονται στο δίκτυο.

Εναλλακτικά, μπορεί να είναι ειδικού τύπου αλεστική αντλία που αλέθει τα στερεά υλικά δημιουργώντας πιο λεπτόκοκκα υλικά που μεταφέρονται πιο εύκολα στο δίκτυο χωρίς να καθιζάνουν. Στην πρώτη περίπτωση είναι απαραίτητη η

μεσολάβηση σηπτικής δεξαμενής (όπως και στα συστήματα μικρής διαμέτρου με βαρύτητα), μέσα στην οποία τοποθετείται και η αντλία, ενώ στη δεύτερη περίπτωση δεν υπάρχει σηπτική δεξαμενή αλλά ένα αποθηκευτικό «τέλμα» μικρού όγκου (π.χ. 100 L). Αντίστοιχα, προκύπτουν οι δύο υποκατηγορίες συστημάτων με πίεση που προαναφέρθηκαν, τα συστήματα άντλησης από σηπτικές δεξαμενές και τα συστήματα με αλεστικές αντλίες. Οι ιδιωτικές συνδέσεις μπορούν να απομονώνονται από το δίκτυο με δικλείδες, που τοποθετούνται ανάντη της σύνδεσης και κατάντη της αντλίας.

Οι αγωγοί του δικτύου σχεδιάζονται με ελάχιστη διάμετρο 5 έως 7.5 cm και με ταχύτητα από 1.5 έως 2.0 m/s και κατασκευάζονται από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) ή υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HDPE). Ιδιαίτερη μέριμνα λαμβάνεται για την εξασφάλιση της στεγανότητας του δικτύου. Όπως και στα εναλλακτικά συστήματα βαρύτητας, φρεάτια επίσκεψης δεν κατασκευάζονται αλλά στη θέση τους τοποθετούνται δίοδοι καθαρισμού (απόξεσης) και κατά διαστήματα δικλείδες για την απομόνωση των αγωγών κατά τμήματα. Σε ψηλές θέσεις του δικτύου τοποθετούνται δικλείδες αερεξαγωγής, ενώ, αν οι συνθήκες το απαιτούν, σε κατάλληλα σημεία του δικτύου τοποθετούνται ρυθμιστές πίεσης που εξασφαλίζουν τη διατήρηση πίεσης στον αγωγό όταν η παροχή μικραίνει σε βαθμό που να μπορεί να συντηρηθεί η πλήρωση του αγωγού. Τέλος, απαιτούνται διατάξεις απόσμησης σε κάθε σημείο πρόσβασης στο δίκτυο.

Τα αποχετευτικά συστήματα με πίεση είναι κατάλληλα για αραιοκατοικημένους οικισμούς σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο ή με βραχώδες υπέδαφος ή με υψηλό υπόγειο ορίζοντα. Έχουν θεωρηθεί κατάλληλη τεχνολογία ακόμη και για πυκνοκατοικημένες περιοχές όπου οι συνθήκες (το ανάγλυφο, το είδος εδάφους και η στενότητα δρόμων) δεν επιτρέπουν την κατασκευή συμβατικών συστημάτων. Το βασικό τους πλεονέκτημα είναι η ελευθερία στη χάραξη των αγωγών, αφού δεν απαιτούνται ευθυγραμμίες σε οριζοντιογραφία ή σε μηκοτομή, ενώ η κλίση των αγωγών μπορεί να είναι οποιαδήποτε. Ελευθερία υπάρχει επίσης στην επέκταση του δικτύου προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, καθώς και στην τοποθέτηση της εγκατάστασης επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, της οποίας το υψόμετρο μπορεί να είναι και μεγαλύτερο από τα υψόμετρα των κατοικιών. Όπως και στα εναλλακτικά συστήματα βαρύτητας, η ταχύτητα κατασκευής είναι πολύ μεγαλύτερη, σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα και το κόστος υλικών και εκσκαφών για το δίκτυο πολύ χαμηλότερο. Όμως, το αρχικό κόστος των εγκαταστάσεων για κάθε κατοικία είναι πολύ ψηλότερο, όπως είναι και το κόστος λειτουργίας (για αντλήσεις και διαχείριση της ύλης των σηπτικών δεξαμενών) και συντήρησης. Το γεγονός ότι το όλο σύστημα περιλαμβάνει πολλές ηλεκτρομηχανολογικές συνιστώσες δημιουργεί αυξημένες και απαιτήσεις συντήρησης (προληπτικής και μετά από βλάβες) από εξειδικευμένο προσωπικό, ενώ είναι απαραίτητη και η εκπαίδευση του πληθυσμού στη λειτουργία του δικτύου. Όπως είναι εύλογο, η αξιοπιστία του συστήματος είναι πολύ μειωμένη σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα, αφού οι βλάβες του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και οι παραλείψεις συστηματικής συντήρησης δημιουργούν συχνά έκτακτες καταστάσεις. Οι απαιτούμενες αντικαταστάσεις ηλεκτρομηχανολογικών συνιστωσών αποτελούν ένα επιπλέον μειονέκτημα. Άλλα προβλήματα προέρχονται από τις αναερόβιες συνθήκες, τη συνεπαγόμενη διαβρωτική δράση των υγρών αποβλήτων, τη δημιουργία οσμών και την ανάγκη απόσμησης. Οι αναερόβιες συνθήκες αφορούν ιδίως την περίπτωση των συστημάτων με σηπτικές δεξαμενές, χωρίς όμως να εξαιρείται και η περίπτωση των συστημάτων με αλεστικές αντλίες, δεδομένου ότι τα υγρά απόβλητα συσσωρεύονται για διαστήματα στο τέλμα της αντλίας, η οποία προφανώς δεν λειτουργεί συνεχώς, ενώ εξ άλλου τα υγρά απόβλητα μέσα στο συγκεκριμένο δίκτυο δεν αερίζονται.

### 3.4 Αποχετευτικά συστήματα με υποπίεση

Σε σχέση με τα συμβατικά αλλά και τα προηγούμενα εναλλακτικά συστήματα, τα αποχετευτικά συστήματα με υποπίεση έχουν πολυπλοκότερη κατά πολύ υδραυλική λειτουργία, η οποία χαρακτηρίζεται από φαινόμενα μη μόνιμης διφασικής ροής αέρα-νερού (ή και τριφασικής, αν ληφθούν υπόψη και τα μεταφερόμενα στερεά). Πρακτικές εφευρέσεις που έκαναν χρήση υδραυλικών αρχών παρόμοιων με αυτές των σημερινών συστημάτων αποχέτευσης με υποπίεση έχουν υπάρξει ήδη από το 19<sup>ο</sup> αιώνα (συστήματα συλλογής αποβλήτων από τουαλέτες από τον ολλανδό μηχανικό Liempur το 1866 και από το σουηδό μηχανικό Liljendahl το 1956). Η σημερινή μορφή των συστημάτων, προϊόν εν πολλοίς πατεντών, μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι πολύ πρόσφατη, της δεκαετίας του 1990.

Καρδιά ενός συστήματος με υποπίεση είναι το κεντρικό αντλιοστάσιο κενού (central vacuum pump station), στο οποίο δημιουργείται πίεση αέρα μικρότερη της ατμοσφαιρικής (συνήθως 600 hPa ή -4 m). Το αντλιοστάσιο τοποθετείται κοντά στο κέντρο της αποχετευόμενης περιοχής, η οποία μπορεί να έχει διάμετρο μέχρι 5 km. Εκεί καταλήγουν όλοι οι αγωγοί, του δικτύου, συνήθως από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HDPE) και σπανιότερα από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), που έχουν διαμέτρους από 10 έως 20 cm. Το όλο σύστημα των αγωγών είναι όχι απλώς υδατοστεγές, αλλά και αεροστεγές· διαφορετικά δεν θα μπορούσε να εξασφαλιστεί η υποπίεση του δικτύου, η οποία μπορεί να φτάνει μέχρι 250 hPa. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει ανοιχτή επικοινωνία του δικτύου με τις κατοικίες. Κάθε κατοικία διαθέτει μια ειδική μονάδα διασύνδεσης, η οποία περιλαμβάνει ένα αποθηκευτικό τέλμα και μια κατάλληλη δικλείδα κενού. Η δικλείδα λειτουργεί με αυτοματισμό χωρίς την απαίτηση ηλεκτρικής ενέργειας, σε τρόπο ώστε όταν η αποθήκευση στο τέλμα ξεπεράσει κάποιο όριο, να ανοίγει προσωρινά και να διοχετεύει τα υγρά απόβλητα και μια επαρκή ποσότητα αέρα (από 1.5 έως 3,0 φορές την ποσότητα του νερού) στο δίκτυο και αμέσως μετά να ξανακλείνει, απομονώνοντας την κατοικία από το δίκτυο. Έτσι, τα υγρά απόβλητα εισέρχονται στο σύστημα υπό μορφή θυλάκων, συνοδευόμενων από θυλάκους αέρα, και συνεχίζουν να κινούνται έτσι, χωρίς να αποκαθίσταται μόνιμη ροή.

Εξ άλλου, η ροή των υγρών αποβλήτων δεν είναι πάντα με ελεύθερη επιφάνεια αλλά κάποτε καταλαμβάνει το σύνολο της διατομής και κάποτε εκτοπίζεται τελείως από τη ροή αέρα. Θυλάκοι υγρού που καταλαμβάνουν όλο το βάθος του αγωγού κινούνται υπό τη διαφορά πίεσης των θυλάκων αέρα που προηγούνται και έπονται, ταξιδεύοντας ακόμη και προς

τα πάνω. Η πριονωτή χάραξη της μηκοτομής του αγωγού που απεικονίζεται στο κάτω μέρος του Σχ. 3.2 για αγωγούς κάτω από οριζόντια εδάφη βοηθάει σε αυτή τη λειτουργία. Πριονωτή είναι η χάραξη ακόμη και σε ανηφορική χάραξη αγωγού. Σε αυτή την πολύπλοκη υδραυλική λειτουργία, που ως τώρα δεν έχει κατανοηθεί πλήρως, είναι προφανές ότι μια «μέση» γραμμική ενέργειας, όπως αυτή που απεικονίζεται στο κάτω μέρος του Σχ. 3.2, δεν έχει ιδιαίτερο νόημα. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της μη μόνιμης ροής είναι το γεγονός ότι αναπτύσσονται κατά περιόδους ταχύτητες της υγρής φάσης σημαντικά μεγαλύτερες της μέσης ταχύτητας (της τάξης των 5 m/s) που πρακτικώς αποκλείουν την καθίζηση στερεών στους αγωγούς.

Τα αποχετευτικά συστήματα με υποπίεση είναι κατάλληλα για αραιοκατοικημένους οικισμούς σε περιοχές χωρίς ανάγλυφο με βραχώδες υπέδαφος ή με υψηλό υπόγειο ορίζοντα. Για παράδειγμα, οικισμοί που αναπτύσσονται με μέτωπο την ακτογραμμή της θάλασσας ή μιας λίμνης θεωρούνται ιδεώδες πεδίο εφαρμογής αυτών των συστημάτων, των οποίων η χρήση επεκτείνεται και σε μη οικιστικές εγκαταστάσεις, όπως σε μαρίνες. Τα βασικά πλεονεκτήματά τους είναι παρόμοια με αυτά των προηγούμενων συστημάτων. Επιπλέον, έχουν τα πλεονεκτήματα (α) της εξασφάλισης αερισμού των υγρών αποβλήτων και της εξάλειψης του προβλήματος των οσμών, (β) της εισαγωγής του συνόλου των στερεών υλικών στο σύστημα χωρίς τον κίνδυνο των καθιζήσεων και της εξάλειψης του προβλήματος της διαχείρισης της σηπτικής ιλύος ανά δεξαμενή και (γ) της απλής μηχανικής λειτουργίας των ιδιωτικών συνδέσεων χωρίς ενεργειακή τροφοδοσία, άντληση ή άλεση. Είναι, ωστόσο, ευαίσθητα συστήματα εξ αιτίας της πολύπλοκης υδραυλικής λειτουργίας τους και των σημαντικών διαταραχών που μπορούν να επιφέρουν σε αυτή τυχόν βλάβες του δικτύου.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Angelakis, A.N. and D. Koutsoyiannis (2003), Urban water engineering and management in Ancient Greece. *The Encyclopedia of Water Science*, (B.A. Stewart and T. Howell, Eds.), Markel Dekker, 999-1007, New York.
- Burton, F. L. (1996), Wastewater collection systems, Ch. 19 in *Water Resources Handbook*, (L.W. Mays Ed.), McGraw-Hill, New York.
- Butler, D., and J. W. Davis (2000), *Urban Drainage*, E & FN Spon, London.
- Crites, R., and G. Tchobanoglous (1998), *Small & Decentralized Wastewater Management Systems*, McGraw-Hill, New York.
- Κουτσογιάννης, Δ. (1999), *Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης*, Έκδοση 3.1, 202 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- U.S. Environmental Protection Agency (1991), *Manual: Alternative Wastewater Collection Systems*. EPA Office of Water, Washington, DC. EPA 625/1-91/024.
- U.S. Environmental Protection Agency (2000), *Decentralized Systems Technology Fact Sheet, Small Diameter Gravity Sewers*, EPA Office of Water, Washington, DC. EPA 832-F-00-038.
- U.S. Environmental Protection Agency (2002), *Wastewater Technology Fact Sheet, Sewers, Pressure*, EPA Office of Water, Washington, DC. EPA 832-F-02-006.
- Water Environment Federation (1986), *Alternative Sewer Systems*, Manual of Practice FD-12, Alexandria, Va.